

PRODUKSI DAN SIMPANAN KARBON PADA PERKEBUNAN KAKAO (*Theobroma cacao* L.) BERBASIS AGROFORESTRI

*Carbon Storage and Production in Agroforestry-Based Cacao (*Theobroma cacao* L.)
Plantations.*

Nur Fauzia Mbuti¹, Nikmah Musa^{2*}, Sutrisno Hadi Purnomo²

¹Alumni Program Studi Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Negeri Gorontalo

²Dosen Pengajar Jurusan Agroteknologi Fakultas Pertanian Universitas Negeri Gorontalo
Jl. Prof. Dr. Ing. B. J. Habibie, Kec. Tilongkabila, Kab. Bone Bolango, Gorontalo 96119

*Correspondence author : nurfauziambuti25@gmail.com

ABSTRAK

Budidaya kakao (*Theobroma cacao* L.) dapat dilakukan dalam sistem agroforestri yang mengintegrasikan pohon penayang dengan tanaman kakao. Sistem ini tidak hanya mendukung produksi kakao, tetapi juga berpotensi menyimpan karbon dalam biomassa dan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis produksi dan simpanan karbon pada sistem perkebunan kakao berbasis agroforestri. Penelitian dilaksanakan di Desa Helumo, Kecamatan Mootilango, Kabupaten Gorontalo, pada Februari 2025. Penelitian ini menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK) Sub sampel dengan tiga jenis penayang pada sistem perkebunan kakao berbasis agroforestri, yaitu jati (AF jati), lamtoro (AF lamtoro), dan gamal (AF gamal), masing-masing terdiri atas tiga subsampel, sehingga total terdapat sembilan plot berukuran 10 m × 10 m. Parameter yang diamati meliputi jumlah buah, jumlah biji, berat biji basah, berat biji kering, *bean count*, *pod value*, serta estimasi biomassa dan simpanan karbon menggunakan rumus allometrik. Hasil analisis menunjukkan bahwa jenis pohon penayang berpengaruh tidak nyata terhadap produksi kakao, meskipun sistem agroforestri mampu menyimpan karbon dalam jumlah yang signifikan. Sistem agroforestri dengan naungan pohon jati menunjukkan Simpan karbon tertinggi yaitu 926,22 ton/ha, diikuti oleh lamtoro dan gamal.

Kata Kunci : Kakao, Agroforestri, Karbon, Produksi, Biomassa

ABSTRACT

Cacao (*Theobroma cacao* L.) cultivation can be integrated into agroforestry systems by combining cacao plants with shade trees. This system not only supports cacao production but also contributes to carbon storage in both biomass and soil. This study aimed to analyze the production and carbon storage potential of agroforestry-based cacao plantations. The research was conducted in Helumo Village, Mootilango Subdistrict, Gorontalo Regency, in February 2025. A Randomized Block Design (RBD) with subsamples was employed, involving three types of shade trees in the agroforestry cacao system: teak (AF-teak), lamtoro (AF-lamtoro), and gliricidia/gamal (AF-gamal). Each treatment included three subsamples, resulting in a total of nine plots measuring 10 m 10 m each. Observed parameters included the number of pods, number of seeds, fresh seed weight, dry seed weight, *bean count*, *pod value*, as well as estimated biomass and carbon storage using allometric equations. The analysis revealed that the type of shade tree had no statistically significant effect on cacao production. However, the agroforestry system demonstrated substantial carbon storage capacity. Among the treatments, the teak-shaded system showed the highest carbon storage at 926.22 tons/ha, followed by the lamtoro and gamal.

Key words : Cacao, Agroforestry, Carbon, Production, Biomass.

PENDAHULUAN

Indonesia merupakan salah satu negara produsen kakao terbesar dunia, dengan kontribusi sekitar 30% dari total produksi kakao global. Kakao (*Theobroma cacao* L.) adalah komoditi perkebunan yang telah berkembang pesat dan mempunyai peranan penting dalam perekonomian nasional khususnya sebagai penyedia lapangan kerja, sumber mata pencaharian utama bagi sebagian besar penduduk di beberapa provinsi, juga sebagai penghasil devisa terbesar ketiga setelah komoditi karet dan kelapa sawit. Apabila tanaman kakao dikelola secara tepat maka masa produksinya dapat bertahan lebih dari 25 tahun (Ketut et al., 2023)

Perubahan iklim menjadi salah satu tantangan terbesar yang mengancam keberlanjutan produksi kakao di berbagai belahan dunia. Faktor ini berpengaruh terhadap tingkat Produksi kakao yang berdampak ke pendapatan yang diperoleh petani yang akhirnya dapat menimbulkan gejolak sosial di tengah masyarakat. Jika kondisi ini tidak ditangani dengan serius dikhawatirkan akan mengancam keberlangsungan usahatani kakao. Salah satu cara untuk mengendalikan perubahan iklim adalah dengan mengurangi emisi gas rumah kaca (CO_2 , CH_4 , N_2O) yaitu dengan mempertahankan keutuhan hutan alami dan meningkatkan kerapatan populasi pepohonan di luar hutan. Dengan mengukur kandungan C dalam tubuh tanaman kakao maka akan diketahui jumlah CO_2 yang diserap dari udara. Semakin besar biomassa tanaman kakao maka jumlah CO_2 yang diserap, semakin tinggi sehingga kandungan CO_2 di udara akan semakin berkurang (Supriadi, 2014).

Perkembangan tanaman kakao juga membutuhkan naungan selama pertumbuhan. Tanpa persiapan tanah dan naungan yang tepat, tanaman kakao tidak dapat tumbuh secara maksimal. Tanaman kakao juga dapat dibudidayakan secara monokultur (tanpa naungan) maupun polikultur (kebun campur atau agroforestri) dengan kakao tetap sebagai komoditas utama. Di habitat alaminya, tanaman kakao tumbuh di hutan tropis basah dan berkembang di bawah naungan tanaman hutan. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa pada dasarnya kakao adalah tanaman yang dapat ditanam dengan dicampur tanaman naungan lain dan terlindung dari sebagian sinar matahari (Sumilia et al., 2019). Banyak sekali tipe penanaman pada kakao salah satunya adalah sistem agroforestri. Agroforestri adalah teknologi penggunaan lahan atau penamaan bagi sistem yang dimana tanaman berkayu berumur panjang beserta tanaman pangan dengan umur pendek dikelola petak

lahan yang sama dalam suatu pengaturan waktu dan ruang sehingga penerapan ini berguna. Untuk itu, Sistem agroforestri merupakan salah satu alternatif untuk meningkatkan produktivitas dan mengurangi dampak lingkungan. Tanaman penayang dalam sistem agroforestri ini dapat membantu meningkatkan cadangan karbon, mengurangi erosi, dan meningkatkan kesuburan tanah. Menurut Rahman et al. (2020) sistem agroforestri tidak hanya meningkatkan ketahanan ekologis, tetapi juga berkontribusi terhadap mitigasi perubahan iklim dengan menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah yang signifikan. Selain itu, keberadaan pohon penayang dapat meningkatkan diversitas biologis serta memperbaiki iklim mikro di bawah kanopi, yang penting bagi tanaman kakao yang sensitif terhadap cahaya berlebih.

Namun, pengelolaan tanaman penayang yang tidak tepat dapat mempengaruhi produktivitas tanaman kakao. Produksi tanaman kakao berbasis monokultur maupun agroforestri masing-masing dipengaruhi oleh beberapa faktor yang juga dapat menghambat produksinya diantaranya pengelolaan yang intensif maupun interaksi tanaman kakao dan tanaman pendamping yang dapat meningkatkan kesuburan tanah serta iklim mikro.

METODE PENELITIAN

Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2025, yang bertempat di area perkebunan kakao, yaitu perkebunan kakao berbasis agroforestri. Penelitian ini dilakukan di Desa Helumo, Kecamatan Mootilango, Kabupaten Gorontalo, Provinsi Gorontalo.

Alat dan Bahan

Alat dan Bahan yang digunakan dalam penelitian ini adalah Kaliper, Tanaman Kakao (buah), Karung, Sabit, wadah, Timbangan Analitik, Alat Tulis, Kamera Hp.

Rancangan Penelitian

Penelitian dilakukan dengan menggunakan Rancangan Acak Kelompok (RAK subsampel) yang pada 3 penayang perkebunan kakao. Masing-masing terdapat 3 subsampel :

1. Perkebunan Kakao Penayang Jati (AF jati)
2. Perkebunan Kakao Penayang Lamtoro (AF lamtoro)
3. Perkebunan Kakao Penayang Gamal (AF gamal)

Jumlah seluruh plot penelitian ini adalah 9 plot. Pada setiap plot penelitian mempunyai ukuran 10 m x 10 m.

Prosedur Penelitian

Kegiatan penelitian ini dilakukan pada jenis perkebunan kakao berbasis agroforestri. Kegiatan penelitian yang akan dilakukan yakni sebagai berikut:

1. Melakukan survei lokasi yang akan dijadikan tempat penelitian dan dilihat termasuk pada perkebunan kakao berbasis Agroforestri.
2. Membuat subsampel pada masing-masing lahan kakao dengan jumlah 3 subsampel seluas 10 x 10 m.
3. Mengambil sampel buah kakao dilakukan sebanyak 1 kali panen untuk mengetahui tingkat produksi pada masing-masing sistem pola tanam.
4. Mengukur diameter batang tanaman kakao dan tanaman naungan.

Pengumpulan Data

a. Produksi

Data Dikumpulkan dengan cara memanen buah kakao yang meliputi parameter :

- 1) Jumlah Buah pertanaman yang dipanen dihitung pada saat pemanenan. Setelah jumlah buah diketahui pertanamannya kemudian dimasukkan dalam kantung plastik untuk dilakukan langkah selanjutnya.
- 2) Jumlah biji, setelah jumlah buah pertanaman diketahui, maka dilanjutkan dengan pengambilan data jumlah biji dengan cara pemecahan buah kakao terlebih dahulu secara manual dengan menggunakan parang. Buah kakao yang telah dipecah, kemudian dipisah antara kulit buah dengan biji kakao nya dan dihitung jumlah biji kakao nya.
- 3) Berat Biji Basah Perbuah di dapatkan setelah dihitung jumlah bijinya, kemudian ditimbang berat basahnya.
- 4) Berat Biji Kering diperoleh dengan melakukan pengeringan biji basah menggunakan oven dengan suhu yang ditentukan dan di bungkus menggunakan Aluminium Foil. Biji kakao yang sudah kering, ditimbang untuk memperoleh berat kering. Jumlah biji kakao per 100 gram akan dihitung setelah biji kering sempurna kemudian dihitung lebih lanjut dengan bean coun dan pod value.

$$\text{bean count} = \frac{\text{jumlah biji}}{\text{berat biji kering}} \times 100$$

Bean Count merupakan pengkelasan kakao berdasarkan berat biji (per 100 gram). Semakin rendah jumlah buah, maka semakin bagus mutu biji kakaonya.

$$\text{Pod Value} = \frac{1000}{\text{berat biji kering}}$$

Pod Value merupakan pengamatan nilai buah, yaitu banyaknya jumlah buah yang diperlukan untuk menghasilkan 1 kg biji kering kakao. Semakin sedikit jumlah biji yang dibutuhkan untuk mencapai 1 kg biji kering kakao, maka mutu biji kakao tersebut semakin bagus.

b. Simpanan Karbon

Data yang dikumpulkan untuk menghitung Jumlah simpanan karbon adalah dengan mengukur diameter pohon batang tanaman kakao dan tanaman penaung pada ketinggian batang 1,30 m. dengan menggunakan Alat Kaliper.

Penggunaan Alat Kaliper :

- a) Pastikan kaliper dalam kondisi bersih dan berfungsi dengan baik.
- b) Tempatkan rahang kaliper di sekitar batang pohon yang akan diukur.
- c) Dalam Pengukuran diameter pohon Geser rahang Kaliper hingga mencengkeram batang pohon.
- d) Jika pengukuran dilakukan di ketinggian pada batang (misalnya, 1,30 meter di atas tanah untuk diameter setinggi dada), catat posisi dan hasilnya.

Selanjutnya Periksa nilai diameter pada skala kaliper.

6. Analisis Data

Data yang dikumpulkan selanjutnya di analisis dengan menggunakan cara sebagai berikut:

a) Produksi :

Data parameter produksi yang meliputi jumlah buah pertanaman, jumlah biji, berat basah biji dan berat kering biji dianalisis dengan menggunakan uji F, dan apabila terdapat perbedaan yang nyata antar sistem perkebunan maka dilakukan uji lanjut dengan menggunakan uji DMRT.

b) Simpanan Karbon :

Biomassa tanaman kakao dan tanaman penaung dianalisis menggunakan rumus Allometrik sebagai berikut :

Biomassa :

Kakao : $W = 0,281 D^{1,98}$ (Yuliasmara *et al.*, 2010)

Lamtoro : $W = 0,25 (D^2)$ (Yuen *et al.*, 2016)
Pisang : $Y = 0,030 D^{2,13}$ (Arifin, 2001)
Jati : $Y = 0,153 D^{2,382}$ (IPCC, 2003)
Gamal : $W = 0,074 D^{1,954}$ (Yuliana *et al.*, 2011)

Keterangan :

Y/W : Biomassa
D : Diameter pada ketinggian 1,30 m.

Simpanan Karbon :

Biomassa yang didapat kemudian dikonversi kedalam Jumlah karbon dengan dikalikan 0,46. Faktor 0,46 berasal dari standar BSN (2011) yang menyatakan bahwa karbon sekitar 46% dari biomassa total. (Badan Standarisasi Nasional (BSN), 2011) dalam rumus sebagai berikut; Karbon (C) = Biomassa x 0,46.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran umum Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan di Desa Helumo, Kecamatan Mootilango, Kabupaten Gorontalo, Provinsi Gorontalo. Secara geografis, wilayah ini terletak di bagian selatan Kabupaten Gorontalo dan memiliki topografi yang bervariasi, mulai dari dataran rendah hingga kawasan berbukit. Pemilihan lokasi penelitian didasarkan pada sistem budidaya yang diterapkan, yaitu sistem agroforestri dengan penggunaan berbagai jenis tanaman penayang seperti jati (*Tectona grandis*), lamtoro (*Leucaena leucocephala*), dan gamal (*Gliricidia sepium*). Keberadaan sistem agroforestri tersebut memberikan peluang untuk mengkaji peran tanaman penayang terhadap produksi kakao serta simpanan karbon yang tersimpan dalam biomassa vegetatif. Selain itu kemudahan akses ke lokasi serta adanya dukungan dari masyarakat dan pemilik lahan turut menjadi pertimbangan utama dalam pelaksanaan kegiatan penelitian di wilayah ini.

Hasil Produksi Tanaman Kakao

Hasil analisis sidik ragam (Lampiran 1.) menunjukkan bahwa jenis pohon penayang (jati, lamtoro, gamal) dalam sistem agroforestri berpengaruh tidak nyata ($p > 0,05$) terhadap seluruh parameter produksi tanaman kakao, yaitu jumlah buah, jumlah biji, berat biji basah, dan berat biji kering (Tabel 1).

Tabel 1. Hasil Perhitungan Jumlah Buah, Jumlah Biji, Berat Biji Basah, Berat Biji Kering

Sistem tanam	Jumlah Buah	Jumlah Biji (perbuah)	Berat Biji Basah (g)	Berat Biji Kering (g)
AF Jati	1,56	40,67	81,44	56,41
AF Lamtoro	1,50	48,39	95,62	66,83
AF Gamal	1,11	46,61	89,92	63,34

Keterangan : AF = Agroforestri.

1. Jumlah Buah

Berdasarkan Tabel 1, diketahui bahwa jenis pohon naungan dalam sistem agroforestri, seperti jati, lamtoro, dan gamal, tidak memberikan pengaruh nyata terhadap jumlah buah kakao. Hal ini menunjukkan bahwa faktor-faktor lingkungan mikro yang dipengaruhi oleh karakteristik masing-masing pohon penaung tetap memiliki peran dalam produksi tanaman kakao. Salah satu faktor iklim utama adalah intensitas cahaya, yang sangat dipengaruhi oleh jenis tajuk pohon naungan. Tajuk yang lebat, seperti pada pohon jati, dapat menghalangi masuknya cahaya matahari secara berlebihan dan berpotensi menghambat fotosintesis. Oleh karena itu, penataan jarak tanam pohon penaung, terutama jati, perlu diperhatikan agar intensitas cahaya tetap dalam kisaran 30–50% dari cahaya penuh, dengan jarak ideal antar pohon sekitar 12–15 meter.

Penelitian Wartenberg *et al.* (2020) mendukung temuan ini, menyatakan bahwa pohon penaung ideal dalam agroforestri kakao adalah yang memberi naungan ringan hingga sedang, karena naungan yang terlalu rapat menurunkan intensitas cahaya dan berdampak negatif pada produksi. Selain itu, jenis pohon naungan juga memengaruhi ketersediaan unsur hara. Lamtoro dan gamal, sebagai leguminosa, mampu melakukan fiksasi nitrogen yang memperkaya tanah, serta menyumbang serasah organik dari guguran daunnya. Namun, sistem perakaran pohon naungan juga penting dipertimbangkan, karena akar yang agresif bisa bersaing dengan kakao dalam menyerap air dan nutrisi. Sebaliknya, akar dalam yang tidak menyebar luas dinilai lebih ideal.

2. Jumlah Biji

Hasil analisis ragam pada Tabel 1 (Lampiran 1) menunjukkan bahwa jenis pohon naungan tidak berpengaruh nyata terhadap jumlah biji pada tanaman kakao. Artinya, meskipun terdapat perbedaan jenis pohon penaung, intensitas cahaya yang dihasilkan masih mampu menjaga produksi komponen generatif tanaman. Kakao (*Theobroma cacao*) sendiri dikenal sebagai tanaman adaptif terhadap naungan parsial (500–1.000 lux),

yang memungkinkan proses fotosintesis tetap optimal tanpa mengalami stres akibat kelebihan cahaya (Abdulai *et al.*, 2018).

Jenis pohon seperti lamtoro yang memiliki kanopi lebih terbuka dibanding jati dan gamal tetap dapat mempertahankan intensitas cahaya dalam kisaran toleransi fisiologis kakao, sehingga tidak mengganggu pembentukan biji (Saj *et al.*, 2017). Kondisi pencahayaan yang relatif serupa pada sistem AF lamtoro dan AF gamal, ditambah tajuk yang mudah dikendalikan melalui pemangkasan, memungkinkan penetrasi cahaya yang cukup untuk mendukung fotosintesis dan perkembangan biji, meskipun terjadi perbedaan jumlah buah.

3. Berat Biji Basah

Penelitian menunjukkan bahwa rata-rata berat biji basah tanaman kakao berbeda antar sistem agroforestri. Pada sistem dengan naungan jati, berat biji rata-rata sebesar 81,44 gram. Sistem dengan naungan lamtoro mencatat rata-rata tertinggi yaitu 95,62 gram, diikuti oleh gamal sebesar 89,92 gram. Meskipun terdapat perbedaan nilai rata-rata, secara statistik perbedaan ini tidak signifikan ($p > 0,05$).

Hasil ini mengindikasikan bahwa tanaman kakao mampu beradaptasi dengan baik terhadap variasi intensitas cahaya dari rendah hingga sedang. Dalam kisaran toleransi fisiologis, kakao tetap menjalankan fotosintesis optimal, sehingga tidak secara langsung memengaruhi berat biji basah. Selain itu, faktor agronomis lain seperti ketersediaan air, kesuburan tanah, teknik pemangkasan, dan distribusi buah juga berkontribusi terhadap berat biji basah. Oleh karena itu, perbedaan lingkungan mikro akibat jenis naungan belum cukup kuat memberikan pengaruh nyata. Proses pengisian biji sangat tergantung pada efisiensi distribusi asimilat, ketersediaan hara, dan kondisi fisiologis tanaman selama fase pematangan. Jika salah satu faktor terganggu, berat biji bisa menurun meskipun pencahayaan mencukupi. Menurut Susila *et al.* (2020), selama pohon penaung dikelola dengan baik, jenisnya tidak menjadi faktor pembatas utama berat biji kakao basah.

4. Berat Biji Kering

Analisis terhadap berat biji kering menunjukkan bahwa rata-rata berat biji antar sistem agroforestri bervariasi. Pada sistem dengan jati, berat biji kering sebesar 56,41 gram, sedangkan lamtoro dan gamal masing-masing menghasilkan 66,83 gram dan 63,34 gram. Meskipun sistem dengan gamal menghasilkan nilai tertinggi, hasil statistik tetap menunjukkan bahwa perbedaan ini tidak signifikan ($p > 0,05$).

Ketiadaan pengaruh nyata ini menunjukkan bahwa jenis naungan belum cukup berkontribusi terhadap konsistensi proses pengeringan dan akumulasi cadangan kering biji. Penelitian Wahyudi *et al.* (2017) menjelaskan bahwa struktur tajuk pohon naungan memengaruhi intensitas cahaya dan hasil fotosintesis yang disalurkan ke buah. Kakao tetap menunjukkan kemampuan adaptif selama intensitas cahaya berada dalam batas toleransi. Struktur tajuk lamtoro dan gamal yang lebih terbuka memungkinkan penetrasi cahaya lebih tinggi dibanding jati. Halim *et al.* (2020) juga mengungkapkan bahwa tajuk terbuka dapat meningkatkan cahaya hingga 30–50%, mendukung pembentukan biomassa kering. Sementara itu, Marwanto & Bintoro (2018) menekankan bahwa inkonsistensi selama pengeringan juga berpengaruh terhadap bobot akhir biji.

5. *Bean Count dan Pod Value*

Bean count dan *pod value* merupakan indikator utama dalam menilai produksi buah kakao. *Bean count* yang tinggi menunjukkan banyaknya biji dalam satu buah, sementara *pod value* yang tinggi menandakan berat biji per buah yang besar. Keduanya penting secara agronomis karena berkaitan langsung dengan hasil panen yang lebih melimpah (Narayanapur *et al.*, 2021).

Dalam penelitian ini, *bean count* dan *pod value* diamati pada tiga sistem agroforestri berbeda, yaitu AF Jati, AF Lamtoro, dan AF Gamal. Berdasarkan hasil analisis sidik ragam, diperoleh bahwa perbedaan antara ketiga sistem tidak berpengaruh nyata terhadap nilai *bean count* maupun *pod value* ($P > 0,05$). Hal ini menunjukkan bahwa jenis tanaman penaung tidak secara signifikan memengaruhi ukuran dan jumlah biji kakao yang dihasilkan. Nilai rata-rata dari kedua parameter ini ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Perhitungan *Bean Count* dan *Pod Value*

Sistem Tanam	<i>Bean Count</i>	<i>Pod Value</i>
Af Jati	26,07	36,16
Af Lamtoro	32,26	44,55
Af Gamal	41,99	57,06

a. *Bean Count*

Hasil analisis terhadap jumlah biji kakao menunjukkan bahwa perbedaan sistem naungan agroforestri tidak memberikan pengaruh nyata. Artinya, jenis tanaman penaung yang digunakan tidak secara signifikan memengaruhi jumlah biji kakao yang diproduksi.

Salah satu kemungkinan penyebab ketidaksignifikanan ini adalah faktor genetik tanaman kakao itu sendiri. Variasi genotipe sangat menentukan karakter buah dan biji, seperti ukuran dan jumlah biji per buah. Dengan demikian, meskipun kondisi lingkungan

bervariasi, potensi genetik tanaman mungkin lebih dominan dalam menentukan *bean count*.

Penelitian oleh Tschardtke *et al.* (2011) juga menunjukkan bahwa peningkatan hasil kakao bisa terjadi pada sistem naungan tertentu karena pengaruh peningkatan penyerbukan, namun efek ini bersifat kontekstual, bukan universal. Selain itu, kondisi iklim mikro di lokasi penelitian yang relatif seragam antar subsampel – seperti kelembapan, cahaya, dan suhu – dapat menyebabkan tidak adanya perbedaan nyata dalam jumlah biji. Praktik agronomi yang diterapkan secara seragam seperti pemangkasan, pemupukan, dan sanitasi juga turut menyamakan kondisi pertumbuhan tanaman. Secara fisiologis, pembentukan biji sangat tergantung pada asupan hasil fotosintesis. Jika lingkungan mendukung fotosintesis secara relatif seragam di seluruh sistem agroforestri, maka tidak akan terjadi perbedaan signifikan dalam jumlah biji per buah.

b. Pod Value

Pod value merupakan parameter efisiensi produksi kakao. Nilai *pod value* yang lebih kecil menunjukkan semakin sedikit buah yang diperlukan untuk menghasilkan 1 kg biji kering, yang berarti efisiensi produktivitas lebih tinggi. Hasil analisis sidik ragam menunjukkan bahwa *pod value* antar sistem naungan (AF Jati, AF Lamtoro, dan AF Gamal) tidak berbeda nyata (lihat Tabel 2 dan Lampiran 1). Dengan kata lain, jenis penaung tidak memberikan pengaruh signifikan terhadap berat biji yang dihasilkan.

Efisiensi produksi biji kakao bergantung pada keseimbangan antara hasil fotosintesis dan kebutuhan karbon untuk pertumbuhan buah. Bila keseimbangan ini konsisten di semua perlakuan, maka hasil produksi tidak akan menunjukkan perbedaan berarti. Meskipun jati, lamtoro, dan gamal memiliki struktur kanopi dan kerapatan daun yang berbeda, intensitas cahaya yang mencapai bawah naungan tampaknya tidak cukup berbeda untuk memengaruhi perkembangan buah secara signifikan. Tanaman kakao sendiri memiliki kemampuan adaptif tinggi terhadap variasi lingkungan, termasuk perbedaan jenis penaung. Adaptasi fisiologis ini memungkinkan kakao tetap produktif, sehingga nilai *pod value* antar sistem tanam pun tidak berbeda nyata secara statistik.

3. Biomassa Dan Simpanan Karbon

a. Biomassa Tanaman

Hasil pengukuran biomassa pada sistem agroforestri kakao menunjukkan variasi yang mencolok antar jenis pohon naungan. Sistem kakao dengan naungan pohon jati

memiliki total biomassa tertinggi, yaitu 2013,52 ton/ha dari jati dan 100,89 ton/ha dari kakao. Sistem kakao-lamtoro mencatatkan biomassa sebesar 745,71 ton/ha dari pohon lamtoro dan 123,72 ton/ha dari kakao. Adapun sistem kakao-gamal memiliki biomassa naungan terendah, yaitu 143,23 ton/ha, dengan kontribusi kakao sebesar 108,25 ton/ha (lihat Tabel 3).

Tabel 3. Biomassa Pohon Berdasarkan Jenis Tanaman Penaung

Sistem Tanam	Tanaman	Biomassa
kakao + jati	Kakao	100,89
	Jati	2013,52
kakao + lamtoro	Kakao	123,72
	Lamtoro	745,71
kakao + gamal	Kakao	108,25
	Gamal	143,23

Analisis biomassa pohon pada perkebunan kakao sistem naungan agroforestri (AF Jati, AF Lamtoro, dan AF Gamal) menunjukkan bahwa biomassa pohon kakao dan sistem naungan berpengaruh tidak nyata. Implikasinya, disebabkan oleh perbedaan umur tanaman, kerapatan populasi, serta tingkat heterogenitas lingkungan atau pengaruh guguran daun yang tidak sepenuhnya terkontrol selama penelitian antara penaung dan tanaman kakao. Nilai biomassa yang tinggi pada sistem kakao-jati sangat sesuai dengan karakteristik pohon jati (*Tectona grandis*) yang dikenal sebagai tanaman berkayu keras dengan pertumbuhan batang lurus dan tinggi, serta akumulasi biomassa yang besar dalam jangka waktu panjang.

Menurut Hairiah *et al.* (2011), pohon berkayu keras seperti jati dapat menghasilkan biomassa dua hingga tiga kali lebih besar dibandingkan dengan pohon legum seperti lamtoro dan gamal, terutama pada sistem agroforestri jangka panjang. Lamtoro memiliki biomassa lebih besar dibanding gamal karena tajuknya lebih padat dan ditanam dengan jarak lebih rapat. Kontribusi tanaman kakao terhadap total biomassa relatif stabil di ketiga sistem, yakni antara 100,89 hingga 123,72 ton/ha. Meskipun bukan tanaman berkayu besar, tanaman kakao tetap berperan penting dalam akumulasi biomassa. Dalam konteks mitigasi perubahan iklim, biomassa menjadi indikator penting karena berhubungan langsung dengan cadangan karbon. Oleh sebab itu, sistem agroforestri dengan jati memiliki potensi besar sebagai penyimpan karbon, meski perlu diperhatikan dampaknya terhadap pencahayaan dan sirkulasi udara yang dibutuhkan kakao. Sementara itu, sistem lamtoro dan gamal menawarkan keseimbangan antara pencahayaan dan kontribusi biomassa yang sedang.

b. Simpanan Karbon

Analisis kandungan karbon pada sistem agroforestri menunjukkan variasi yang cukup besar antar jenis tanaman penayang, baik pada kakao maupun tanaman naungan. Sistem dengan pohon jati mencatatkan karbon tertinggi, yaitu 926,22 ton/ha dari jati dan 46,41 ton/ha dari kakao. Sistem kakao-lamtoro memiliki kandungan karbon sebesar 343,02 ton/ha dari lamtoro dan 56,91 ton/ha dari kakao. Sedangkan sistem kakao-gamal menunjukkan nilai karbon terendah, yaitu 65,88 ton/ha dari gamal dan 49,80 ton/ha dari kakao (lihat Tabel 4).

Tabel 4. Nilai Karbon Berdasarkan Jenis Tanaman Naungan

Sistem Tanam	Tanaman	Karbon
kakao + jati	Kakao	46,41
	Jati	926,22
kakao + lamtoro	Kakao	56,91
	Lamtoro	343,02
kakao + gamal	Kakao	49,80
	Gamal	65,88

Tingginya nilai karbon yang terakumulasi pada sistem agroforestri kakao-jati secara umum dapat dikaitkan dengan karakteristik morfologis dan fisiologis pohon jati (*Tectona grandis*) yang khas. Pohon jati dikenal memiliki bentuk batang yang lurus, diameter yang besar, serta kayu yang padat dan berat, yang merupakan indikator tingginya kandungan biomassa.

Karakteristik ini menjadikan jati sebagai salah satu spesies berkayu keras dengan kemampuan tinggi dalam menyerap dan menyimpan karbon dalam bentuk biomassa kering, khususnya pada jaringan kayu yang bersifat tahan lama. Biomassa dari jaringan tersebut memiliki laju dekomposisi yang lambat, sehingga karbon yang tersimpan di dalamnya dapat bertahan dalam waktu yang cukup lama sebelum kembali dilepaskan ke atmosfer. Jati merupakan tanaman dengan umur panjang dan pertumbuhan yang relatif lambat, yang berarti bahwa pohon ini secara terus menerus menumpuk biomassa dari waktu ke waktu tanpa adanya siklus pergantian biomassa yang cepat, seperti yang terjadi pada jenis pohon cepat tumbuh.

Proses akumulasi biomassa secara bertahap ini memungkinkan peningkatan stok karbon yang stabil dan berkelanjutan. Hal ini berbeda dengan pohon-pohon leguminosa seperti lamtoro (*Leucaena leucocephala*) dan gamal (*Gliricidia sepium*), yang meskipun memiliki laju pertumbuhan yang lebih cepat, namun umumnya memiliki struktur batang yang lebih kecil, jaringan kayu yang lebih ringan, serta siklus hidup yang lebih pendek,

sehingga kemampuan mereka dalam menyimpan karbon jangka panjang cenderung lebih rendah dibandingkan dengan jati. spesies pohon berkayu keras yang memiliki umur panjang dan struktur biomassa padat seperti jati berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan Simpanan karbon dalam sistem penggunaan lahan berkelanjutan, termasuk dalam sistem agroforestri. Dengan demikian, kombinasi antara sifat fisik tanaman, umur biologis, dan akumulasi biomassa yang tinggi menjadikan pohon jati sebagai komponen penting dalam sistem agroforestri yang berorientasi pada mitigasi perubahan iklim melalui peningkatan penyerapan dan penyimpanan karbon di lahan pertanian. Sebagai tanaman berkayu keras, jati mampu menyerap dan menyimpan karbon dalam jumlah besar dalam jaringan kayunya (Hairiah et al., 2011).

Pada sistem kakao-lamtoro dan kakao-gamal, meskipun nilai karbon lebih rendah, keduanya tetap memberikan kontribusi ekologis yang berarti. Lamtoro memiliki nilai karbon lebih tinggi dibanding gamal karena tajuknya lebih padat dan biomassa total lebih besar, walaupun keduanya merupakan legum berumur pendek dan batang ringan. Nilai karbon dari tanaman kakao sendiri stabil di seluruh sistem, berkisar antara 46–57 ton/ha. Ini menunjukkan bahwa kakao tetap menyumbang cadangan karbon yang signifikan. Dalam konteks mitigasi perubahan iklim, sistem kakao-jati menunjukkan potensi penyimpanan karbon paling tinggi. Namun, perlu juga mempertimbangkan produktivitas tanaman utama dan keberlanjutan sistem secara keseluruhan. Penelitian oleh Roshetko *et al.* (2013) dan Rahman *et al.* (2020) menegaskan pentingnya memilih tanaman penaung yang mampu menyeimbangkan manfaat ekologi dan produktivitas ekonomi.

KESIMPULAN

1. Produksi kakao pada sistem perkebunan berbasis agroforestri menunjukkan pengaruh tidak nyata secara statistik antar jenis tanaman penaung (jati, lamtoro, dan gamal). Parameter produksi seperti jumlah buah, jumlah biji, berat biji basah, berat biji kering, *bean count*, dan *pod value* berpengaruh tidak nyata oleh jenis naungan yang digunakan.
2. Sistem agroforestri kakao mampu menyimpan karbon dalam jumlah besar, terutama pada naungan pohon jati menunjukkan simpanan karbon tertinggi yaitu 926,22 ton/ha, diikuti oleh lamtoro dan gamal. Meski jenis penaung berpengaruh tidak nyata terhadap produksi kakao, keberadaannya memberikan manfaat ekologis penting seperti menjaga iklim mikro, menurunkan intensitas cahaya, mempertahankan

kelembaban tanah, dan menyumbang bahan organik melalui guguran daun. sehingga mendukung keberlanjutan agroekosistem kakao.

UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan rasa syukur kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan jurnal penelitian ini, terkhusus pada orang tua dan keluarga yang telah memberikan support baik materil maupun nonmateril, pada Ibu Nikmah Musa dan Bapak Sutrisno Hadi Purnomo yang telah membimbing dan mengarahkan penulis sehingga jurnal penelitian ini dapat diselesaikan oleh penulis sesuai dengan waktu yang telah ditentukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdulai, I., & others. (2018). Shade-tree rehabilitation in cocoa agroforestry systems: Impacts on microclimate and yield. *Agriculture, Ecosystems & Environment*.
- Arifin, H. S. (2001). Model Pendugaan Biomassa Tanaman Pisang (*Musa spp.*) Berdasarkan Diameter Batang. *Jurnal Ilmu-Ilmu Pertanian Indonesia*, 3(1), 45–52.
- Hairiah, K., Rahayu, S., & van Noordwijk, M. (2011). *Pengukuran Karbon Tersimpan pada Berbagai Tipe Penggunaan Lahan di Indonesia*. World Agroforestry Centre - ICRAF SEA.
- Halim, H., Zainuddin, Z., & Putra, A. (2020). Efek Struktur Tajuk Pohon Penaung terhadap Intensitas Cahaya dan Kualitas Biji Kakao. *Jurnal Ilmu Pertanian*, 22(4), 98–110.
- IPCC. (2003). *Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change and Forestry*. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).
- Ketut, N., Juliasih, A., Arsana, I. N., Nyoman, N., & Puspa, S. (2023). Budidaya Kakao (*Theobroma cacao L.*) Di Cau Chocolates. *Fakultas Teknologi Informasi Dan Sains Universitas Hindu Indonesia Program Studi Biologi Fakultas Teknologi Informasi Dan Sains Universitas Hindu Indonesia*, 13(2086–5783).
- Narayanapur, V. B., Suma, B., Minimol, J. S., Sujatha, V. S., Deepu, M., & Santhosh Kumar, A. V. (2021). Performance of S1 Inbreds of Cocoa (*Theobroma cacao L.*) Genotypes. *Environment and Ecology*, 39(4). <https://www.researchgate.net/publication/361638584>
- Rahman, S. A., Sunderland, T., & Roshetko, J. M. (2020). Agroforestry for Livelihoods and Carbon Storage: Evidence from Indonesia. *Forests*, 11(8), 856. <https://doi.org/10.3390/f11080856>
- Roshetko, J. M., Lasco, R. D., & Angeles, M. D. (2013). Smallholder Agroforestry Systems for Carbon Storage. *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 12(2), 219–242. <https://doi.org/10.1007/s11027-006-9040-8>
- Saj, S., & others. (2017). The role of cocoa agroforestry systems in conserving forest tree diversity. *Agroforestry Systems*.
- Sumilia, Akhir, N., & Syarif, Z. (2019). Produktivitas Kakao Dan Keanekaragaman Tanaman Dalam Berbagai Sistem Agroforestri Berbasis Kakao Di Kabupaten Pasaman Sumatera Barat. *Jurnal Agroforestri Indonesia*, 2(2), 51–62.
- Supriadi, H. (2014). Peran Biomassa dan Bioindustri Kakao dalam Mitigasi Perubahan Iklim. *Bunga Rampai: Inovasi Teknologi Bioindustri Kakao*, C, 79–90.

- Susila, A. D., Ristanto, D., & Nugroho, S. (2020). Produktivitas Tanaman Kakao di Bawah Naungan: Studi Kasus pada Beberapa Jenis Pohon Penaung. *Jurnal Ilmu Pertanian Indonesia*, 25(1), 45–53. <https://jurnal.ipb.ac.id/index.php/jipi/article/view/2345>
- Tscharntke, T., Clough, Y., Bhagwat, S. A., Buchori, D., Faust, H., Hertel, D., Hölscher, D., Juhrbandt, J., Kessler, M., Perfecto, I., Scherber, C., Schroth, G., Veldkamp, E., & Wanger, T. C. (2011). Multifunctional shade-tree management in tropical agroforestry landscapes - A review. *Journal of Applied Ecology*, 48(3), 619–629. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2010.01939.x>
- Wahyudi, A., Suryanto, P., & Harahap, R. (2017). Pengaruh Intensitas Cahaya terhadap Pertumbuhan dan Hasil Tanaman Kakao pada Sistem Agroforestri. *Jurnal Agroteknologi Tropika*, 5(2), 102–109. <https://journal.unila.ac.id/index.php/agrotrop/article/view/1234>
- Wartenberg, A. C., Blaser, W. J., Roshetko, J. M., Van Noordwijk, M., & Six, J. (2020). Soil fertility and *Theobroma cacao* growth and productivity under commonly intercropped shade-tree species in Sulawesi, Indonesia. *Plant and Soil*, 453(1), 87–104. <https://doi.org/10.1007/s11104-018-03921-x>
- Yuen, J. Q., Fung, T., & Ziegler, A. D. (2016). Carbon stocks in tropical agroforestry and mixed forest plantations: A meta-analysis. *Forest Ecology and Management*, 379, 220–232. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.08.012>
- Yuliana, N., Subagyo, A., & Lestari, R. (2011). Model Estimasi Biomassa dan Karbon Tanaman Gamal (*Gliricidia sepium*). *Jurnal Penelitian Hutan Tanaman*, 8(3), 153–161.
- Yuliasmara, F., Lubis, M. I., & Subekti, M. (2010). Model Pendugaan Biomassa dan Karbon Tanaman Kakao (*Theobroma cacao* L.) di Kabupaten Lima Puluh Kota. *Jurnal Penelitian Agroforestry*, 8(2), 93–101.